

Streszczenie pracy doktorskiej

mgr inż. Michał Piotr Drewniak

**pt.: Właściwości reologiczne mieszanki samozagęszczalnej  
a jej parcie boczne na deskowanie**

Zaprojektowanie mieszanki betonu samozagęszczalnego końcem lat *80-tych XX* w. było konsekwencją ograniczeń związanych ze stosowaniem mieszanki betonu zwykłego. Wśród nich znalazły się problemy, lub wręcz brak możliwości zagęszczania mechanicznego w elementach o bardzo gęstym zbrojeniu i złożonych kształtach. Dlatego podczas projektowania betonu samozagęszczalnego skupiono się na właściwościach mieszanki betonowej, która miała całkowicie i szczelnie wypełnić formę w obecności gęstego zbrojenia, przy jednoczesnym samoczynnym, grawitacyjnym odpowietrzeniu i samozagęszczeniu.

W szerszej perspektywie beton samozagęszczalny stanowi alternatywę dla betonu zwykłego. Aktualnie stosowany jest zarówno w prostych, jak i bardziej skomplikowanych elementach, w zakładach prefabrykacji betonowej, jak również bezpośrednio na placu budowy, łącząc ze sobą właściwości konstrukcyjne z walorami estetycznymi.

Technologia betonu samozagęszczalnego wprowadza niestety pewne ograniczenia technologiczne. Złożoność charakterystyki mieszanki powoduje, że jednym z problemów zarówno projektowych jak i wykonawczych, jest brak jednoznacznych wytycznych dotyczących przewidywania parcia mieszanki na deskowanie. Powoduje to, iż projektowanie deskowania i procesy betonowania opierają się w głównej mierze na założeniu, że mieszanka samozagęszczalna wywiera parcie równe hydrostatycznemu. Wynikiem tego jest przewymiarowywanie deskowania, a w aspekcie wykonawczym, znaczne spowolnienie prac betonowych spowodowane redukcją prędkości betonowania, która uważana jest za główną przyczynę wysokiej wartości parcia. Dotychczasowe badania potwierdziły, że rozrzut wartości parcia mieszanki samozagęszczalnej na deskowanie może się wahać w granicach 18 do 99% parcia hydrostatycznego, nawet przy znacznej predkości betonowania. Zależy jest głównie od prędkości betonowania oraz jej właściwości reologicznych. Nie jest jednak całkowicie jasne w jakim zakresie. Co więcej nie jest wiadomo, które spośród właściwości reologicznych odgrywają kluczową rolę.

Głównym celem pracy było określenie zależności pomiędzy parametrami reologicznymi samozagęszczalnej mieszanki betonowej, a wywieranym przez nią parciem na deskowanie, w zależności od zmiennych czynników materiałowych oraz technologicznych. Ich określenie i scharakteryzowanie stanowiło drugi cel pracy. W związku z materiało- i czasochłonną procedurą projektowania mieszanek samozagęszczalnych, finalnym celem pracy było zweryfikowanie możliwości wykorzystania badań właściwości reologicznych zapraw do prognozowania zmian właściwości reologicznych mieszanki samozagęszczalnej w czasie, i w konsekwencji do prognozowania jej parcia na deskowanie.

W pracy opracowano i sprawdzono doświadczalnie metodykę badania właściwości reologicznych mieszanek betonowych ze względu na parcie mieszanki na deskowanie zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i w warunkach budowy. Oprócz podstawowych parametrów reologicznych: dynamicznej granicy płynięcia i lepkości plastycznej, określono zmiany statycznej granicy płynięcia i wskaźnika odwracalnego sztywnienia mieszanki. Dynamiczna

i statyczna granica płynięcia okazały się kluczowe ze względu na prognozowanie parcia mieszanki samozagęszczalnej na deskowanie. Zaproponowano wskaźnik wystąpienia odwracalnego sztywnienia opisanego poprzez zmianę stosunku oraz różnicę statycznej i dynamicznej granicy płynięcia. Określono, że redukcja parcia pozostaje w zależności liniowej dla ich różnicy. W pracy zaproponowano i zweryfikowano nomogram służący do przewidywania wartości parcia samozagęszczalnej mieszanki betonowej na deskowanie w zależności od jej właściwości reologicznych wyznaczonych normowym testem rozplywu. Dzięki korelacji pomiędzy tymi właściwościami a parametrami reologicznymi mieszanki wyznaczonymi w sposób laboratoryjny istnieje możliwość przewidywania wartości parcia mieszanki samozagęszczalnej na podstawie jej właściwości reologicznych.

Podczas badań określono, że zmiany właściwości reologicznych w czasie i występowanie efektu odwracalnego sztywnienia mieszanek samozagęszczalnych zależą istotnie od rodzaju superplastyfikatora, rodzaju cementu oraz stosunku  $w/c$ . Wykazano również, że do projektowania i optymalizacji właściwości reologicznych mieszanek samozagęszczalnych można posłużyć się zaprawami modelowymi. Optymalną metodą ustalania składu zapraw modelowych jest metoda oparta o założenie równej wartości wskaźnika dyspersji  $D$  dla zaprawy i mieszanki betonowej.

**Słowa kluczowe:** mieszanka betonowa, beton samozagęszczalny, parcie na deskowanie, właściwości reologiczne

16/10/2018  
Michał Dreni

Badania zostały współfinansowane z projektu nr 0842/B/T02/2011/40 *Wpływ czasu i czynników technologicznych na właściwości reologiczne samozagęszczalnej mieszanki betonowej w aspekcie jej parcia na deskowanie* ze środków Narodowego Centrum Nauki w Krakowie oraz w ramach projektu „DoktoRIS – Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska” współfinansowanego przez UE w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Badania zostały wykonane we współpracy z HARSCO Infrastructure Polska Sp. z o.o. (HÜNNEBECK Poland). Część badań została wykonana w ramach projektu POIG 01.01.02-24-005/09 *Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z użyciem popiołu lotnego wapiennego* współfinansowanego przez UE w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Summary of Doctoral Thesis

mgr inż. Michał Piotr Drewniok

## **Rheological properties of self-compacting concrete and their influence on formwork pressure**

Designing the self-compacting concrete in the late '80s 20<sup>th</sup> century was due to the limitation of using ordinary concrete. Problems were related to mechanical compaction because of the lack of space in complex shaped elements or high dense reinforcement, and consequently the focus was on the properties of fresh concrete which makes it possible to fill the formwork tightly in presence of very dense rebars, venting under gravity and self-compact.

In wider perspective, self-compacting concrete becomes an alternative to ordinary concrete as is used either in a simple and more complex shapes, pre-cast and on-site concrete, with a combination of structure properties and aesthetics.

Nevertheless, self-compacting concrete technology brings some technological limitations. Because of the mix complexity, and high flowability, one of the issues is a lack of guidelines that connects the fresh concrete properties with formwork pressure. This makes the formwork design and casting rate is based under the assumption of full hydrostatic pressure. As a result formworks are usually overdesigned and casting speed is designed to be much lower than desired. Both aspects significantly affect the construction time and construction cost. Current study shows that self-compacting concrete formwork pressure might be at the range of 18 to 99% hydrostatic. It depends mainly on casting speed and rheological properties, nevertheless it is not very clear what is their importance. Furthermore it is not obvious which fresh concrete rheological parameter are responsible for the formwork pressure the most.

The main aim of this research was to determine the relationship between rheological properties of self-compacting concrete and their influence on formwork pressure taking into account material and technological factors. Determination of these factors was the second aim of this work. Finally, the third, was to determine whether it is possible to predict rheological properties of self-compacting concrete based on rheological properties of mortars, thus is it possible to predict self-compacting formwork pressure based on mortar behaviour. The main reason was that defining the properties fresh concrete based on properties of mortar is much less material and time consuming.

In this study the methodology to determine rheological properties of self-compacting concrete important due to the formwork pressure was developed and examined. Tests were carried out both in the lab and on-site. Except for *Bingham's* rheological parameters i.e. dynamic yield stress and plastic viscosity, static yield stress and thixotropic index was determined. As a result it was noticed that both static and dynamic yield stress are a key parameters to predict self-compacting concrete formwork pressure. In this study reversible stiffness index was proposed which might be described as a ratio and a difference between static and dynamic yield stress. It was found the formwork pressure reduction is in linear dependence on the difference between static and dynamic yield stress. Achievement of this study is the nomogram which might be used to predict self-compacting concrete formwork pressure based on rheological properties identified by standard technical tests. Due to the correlation of

these properties with rheological parameters it is possible to predict self-compacting concrete formwork pressure based on fresh concrete behaviour.

This study shows the rheological properties and thixotropic behaviour of self-compacting concrete dependd especially on superplasticizers and cement type as well as  $w/c$  ratio. It was noticed that mortars may be used to design and optimize self-compacting concrete composition. The best way to obtain the suitable mortar is to use the composition based on assumption the equal value of dispersion index  $D$  both in mortar and concrete.

**Key words:** fresh concrete, self-compacting concrete, formwork pressure, rheological properties.

16/10/2018  
Słochowski

Research was co-funded from the Project No. 842/B/T02/2011/40 *The influence of time and technological factors on rheological properties of self-compacting concrete in terms of the pressure on the formwork* financed by the from the National Science Centre in Cracow, Poland, project POIG 01.01.02-24-005/09 *Innovative cementitious materials and concretes made with high – calcium fly ashes* co-financed by the EU from the European Regional Development Fund and the project *DoktoRIS - Scholarship program for innovative Silesia* co-financed by the European Union under the European Social Fund.

Research has been done in collaboration with HARSCO Infrastructure Poland (HÜNNEBECK Poland).